



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10221703 A**(43) Date of publication of application: **21 . 08 . 98**

(51) Int. Cl

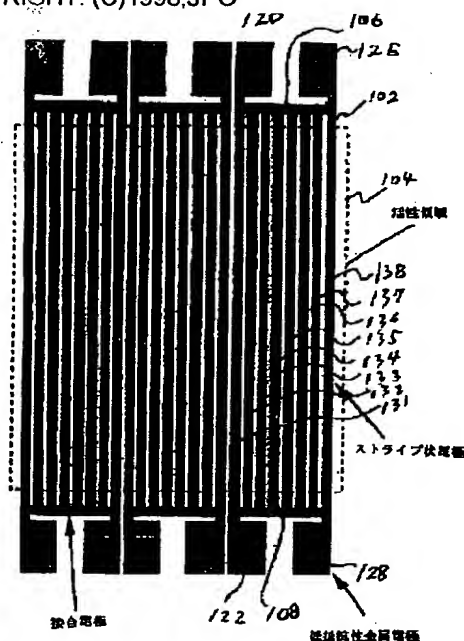
G02F 1/1343(21) Application number: **09059718**(22) Date of filing: **07 . 02 . 97**(71) Applicant: **CITIZEN WATCH CO LTD**(72) Inventor:
**KLAUS WERNER
IDE MASASHI
SUZUKI YASUSHI****(54) ELECTRODE STRUCTURE FOR EFFICIENT
WAVE FRONT MODULATION OF LIQUID
CRYSTAL****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To decrease the number of control signal, to make the manufacture uncomplicated, and to impose linear and nonlinear spatial optical wave front modulation by providing an optical element including a liquid crystal molecule layer provided halfway between a 1st and a 2nd window, positioning an optical device so that a light beam is made incident on the 1st window and reflected or transmitted by the 2nd window, and applying a control signal to individual electrodes outside respective cells.

SOLUTION: Upper and lower terminals 120 and 122 are applied with potentials ΦA of the same level and other upper and lower terminals 126 and 128 are applied with potentials Φ different from ΦA . A thin film resistance line 106 is provided between the terminals 120 and 126 and a thin film resistance line 108 is provided between terminals 122 and 128. Equipotential electrodes 131 and 138 are provided with low-resistance metallic electrodes and 132 to 137 are provided with electrodes in stripe shapes and are arrayed in parallel to one another. Consequently, an equipotential state is generated between the electrodes 131 and 138 along the length of 131 to 138, and a potential which varies in

steps is generated at right angles to the length of the electrodes 131 and 138.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-221703

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月21日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 F 1/1343

識別記号

F I

G 0 2 F 1/1343

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L 外国語出願 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平9-59718

(22) 出願日 平成9年(1997) 2月7日

(71) 出願人 000001960

シチズン時計株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目1番1号

(72) 発明者 クラウス ヴェルナー

東京都国分寺市東恋ヶ窪4-15-13-101

(72) 発明者 井出 昌史

埼玉県所沢市北有楽町17番地12号 ラ・エ

スポワール所沢102号

(72) 発明者 鈴木 康

埼玉県狭山市大字北入曾字御狩場755-1

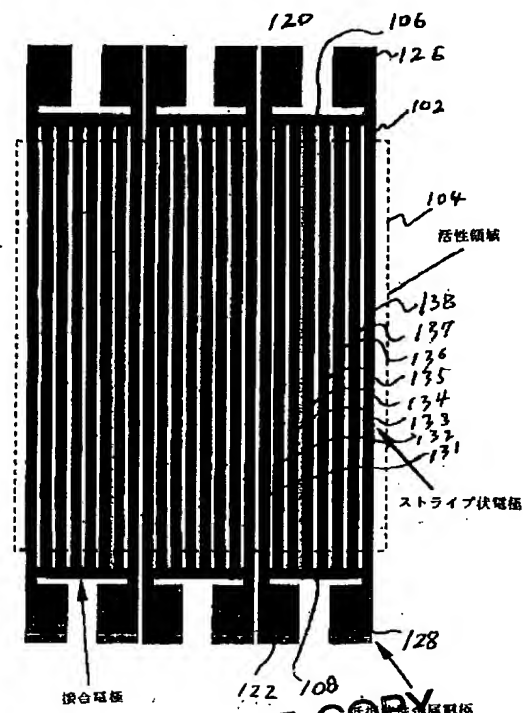
ガーデンシティ狭山2号館522室

(74) 代理人 弁理士 斉藤 武彦 (外1名)

(54) 【発明の名称】 効率的な液晶の波面変調のための電極構造

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、ビームディフレクター、球面状又は円筒状の単一のマイクロレンズまたは、それらのレンズアレイ等に適用性を有する液晶光学波面変調装置の新たな電極構成を提供することにある。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学ビームを波面変調する装置において、
光学的に透明な共通電極を有する第1窓と、電氣的に束ねた平行ストライプ形状をした多数の透明導電電極を有する第2窓と、第1窓と第2窓の中間に設けられた液晶分子層とを含む光学要素を備え、光学装置は、光学ビームが第1窓に入射して第2窓により反射または透過されるように位置決めされ、さらに、制御信号を各セルの外側の電極に個々に印加する手段を備えることにより、接合電極に沿いまセル領域を通して直線情報の電圧傾度を発生させ、それにより、LCの電子光学特性の直線または非直線部分により液晶層に屈折率の局所的な変化を生ぜしめす様に構成されている事を特徴とする光学ビームを波面変調する装置。

【請求項2】 当該装置は更に、ストライプ電極と同じまたは異なる材料よりなる接合電極をさらに備え、ストライプ電極の抵抗率は、好ましくは、低く、一方、接合電極の抵抗率は好ましくは高く設定し、それによって各セルに高入力抵抗を与えるものであり、当該接合電極は発光している活性領域を包む電極構造体に含まれるかまたは活性領域外に設けられる事を特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項3】 接合電極は、LCドライバーから電圧を供給する2つ又は2以上の位置で低抵抗金属電極に接続される事を特徴とする請求項2記載の装置。

【請求項4】 0度と3度間の予め定めた傾斜角度でCL層のLC電子光学特性の直線部分内からの電圧で活性区域をアドレスすることにより、透過または反射光学波面からなるブレイズ効果をもつ相特性を発生することによって光学ビームを偏向するのに使用される事を特徴とする請求項3記載の装置。

【請求項5】 5度と20度間の予め定めた傾斜角度でLC層のLC電子光学特性に於ける低電圧領域での非直線部分内から得られる電圧で活性区域をアドレスすることにより、透過または反射光学波面の2次相プロフィールを発生することによって光学ビームを合焦させるのに使用される事を特徴とする請求項3記載の装置。

【請求項6】 近傍にある接合電極に印加される2つの交流電圧は同じ振幅と同じ周波数を有するが180度位相がずれている（反対極性）事を特徴とする請求項5記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野及び従来技術】ネマチック液晶（LC）波板を介する光学波面制御の関心はますます高まっている。適応性光学、光学信号処理および自由空間レーザ通信等リサーチ分野におけるレーザビームの能動的制御装置が開発されている。このような装置の人気の理由は、LCの強い複屈折を10V以下の電圧で変調す

る可能性、あらゆる機械的運動に対する自由度、小型化、軽量化、および低電力消費量にある。

【0002】例えば、衛星上または光学地上局の様な、光学的トランシーバーにおいて約1マイクロラジアン出入りレーザービームの角度の微小制御は、数100kmから数1000kmにわたる良好な光学通信を達成維持するために不可欠である。機械的手段を介した、所定の精密な方向性の制御を得る事が困難のため、非機械的ディフレクターについての研究が促進されて来ている。

【0003】非機械的要素を光学系に挿入すると、可動部品数が減少し、且つ系統の必要条件が達成される。電子光学および音響光学装置の他、液晶パネルはビームディフレクターとして極めて魅力的候補である。LCマイクロ光学分野で、他に熱心に研究された分野としては、LCの有効屈折率を二次関数を用いて空間的に変調することによる、レンズの合焦性のエミュレーションすることである。

【0004】低電圧でレンズのF数を強力に変更しえる可能性は、最近多くの数の実現可能性のあるアイディアを誘発した。LCレンズは、一次元変調能力を持つ2つの装置、例えば、2つの円筒型LCレンズを互いに重さねあわせるか、または直接的に二次元変調をさせる電極構造体を使用することにより実現できる。LC装置の開発において、リサーチャーはこれまでは、次の2つの形式の電極構造体に注目してきた。即ち（i）液晶が多数の独立狭小ストライプ状低抵抗電極からなる手段により変調される分離構造体と、（ii）異なる抵抗区域を有する広幅の電極が、電極面で生ずる直線または非直線電圧傾度を介し液晶を変調する連続構造体とである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】前者の提案の利点は、高伝達効率と電極の容易な製作性にある。しかし、多数の電極のため、複雑なLCドライバーの製作に高い費用がかかる。後者の提案はLCドライバーの複雑さを抑制するが、高い光学的生産性は未だ報告されていない。

【0006】本発明は、両提案に見られる利点を組み合わせることを目的とする電極構成を提供する。

発明の概要

本発明の目的は、ビームディフレクター、球面状又は円筒状の単一のマイクロレンズまたは、それらのレンズアレー等に適用性を有する液晶光学波面変調装置の新たな電極構成を提供することにある。

【0007】この構成は従来技術の改良であり、それは従来技術に比べて制御信号数を減少し、以前の装置よりも製作方法が複雑でなく、直線および非直線の空間光学波面変調を発生する実用手段を含む。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明の目的は、光学ビームを偏向し（直線波面変調）、光学ビームを合焦する（非直線波面変調）装置を提供することにより開示さ

10

20

30

40

50

れる。しかし、この発明の範囲はここに述べる装置により限定されないで、任意に波面を発生する為のLC変調装置も考慮されるべきである。

【0009】本発明は上記した目的を達成する為、本発明に係る電極の構造としては、以下に示す様な基本的な技術構成を採用するものである。即ち、光学ビームを波面変調する装置において、光学的に透明な共通電極を有する第1窓と、電氣的に束ねた平行ストライプ形状をした多数の透明導電電極を有する第2窓と、第1窓と第2窓の中間に設けられた液晶分子層を含む光学要素を備え、光学装置は、光学ビームが第1窓に入射して第2窓により反射または透過されるように位置決めされ、さらに、制御信号を各セルの外側の電極に個々に印加する手段を備えることにより、接合電極に沿いまセル領域を通して直線情報の電圧傾度を発生させ、それにより、LCの電子光学特性の直線または非直線部分により液晶層に屈折率の局所的な変化を生ぜしめす様に構成されている事を特徴とする光学ビームを波面変調する装置である。

【0010】当該装置は更に、ストライプ電極と同じまたは異なる材料よりなる接合電極をさらに備え、ストライプ電極の抵抗率は、好ましくは、低く、一方、接合電極の抵抗率は好ましくは高く設定し、それによって各セルに高入力抵抗を与えるものであり、当該接合電極は発光している活性領域を包む電極構造体に含まれるかまたは活性領域外に設けられる事を特徴とするものである。

【0011】又、当該装置に於ける該接合電極は、LCドライバーから電圧を供給する2つ又は2以上の位置で低抵抗金属電極に接続されるものである。一方、当該装置に於いては、0度と3度間の予め定めた傾斜角度でCL層のLC電子光学特性の直線部分内からの電圧で活性区域をアドレスすることにより、透過または反射光学波面からなるブレイズ効果をもつ相特性を発生することによって光学ビームを偏向するのに使用される事を特徴とするものである。

【0012】又、本発明に係る当該装置は、5度と20度間の予め定めた傾斜角度でLC層のLC電子光学特性に於ける低電圧領域での非直線部分内から得られる電圧で活性区域をアドレスすることにより、透過または反射光学波面の2次相プロファイルを発生することによって光学ビームを合焦させるのに使用される事に特徴があり、更に、当該装置は、近傍にある接合電極に印加される2つの交流電圧は同じ振幅と同じ周波数を有するが180度位相がずれている（反対極性）事を特徴とするものである。

【0013】

【実施例】本発明に係る装置は、単色光用光学液晶波面変調装置は2つの光学的透明窓の間に閉じ込められる均質に配列された液晶層を含んでいる。この装置は、第1の窓上に光学的に透明な共通電極と、第2窓に多数の光

学的に透明で、互いに平行なストライプ状電極（以下単にストライプ電極と言う）とを有する。

【0014】実現される装置に付いては、該ストライプ状電極の長手方向の形状は真っ直ぐであっても良くまたは曲がっていても良い。第2の窓では、N個のストライプ状電極は抵抗材料の1つ以上の単一ストライプ電極

（以下単に接合電極と言う）を介し周期的に接合されM個の束のストライプ状電極の束を形成し、図1に示すように、各束は液晶セル（以下単にセルと言う）を表す。

【0015】各束の2つの外側のストライプ状電極は、それぞれ、2つの独立した制御信号（例えば交流電圧信号）が供給される。従って、多数の制御信号（ $N \times M$ ）はセル毎に2つの信号（ $2 \times M$ ）に減少される。2つの異なる電圧の印加により接合電極に沿って直線電圧傾度を生ずる。これはまた、セル領域に亘って直線電圧傾度を生ずる。この直線電圧傾度は、液晶の電子光学応答およびアドレス電圧に依拠して、液晶分子一屈折率の直線または非直線空間変化をもたらす。

【0016】波面変調は、図2に示すように液晶の電子光学応答の直線または非直線部分により達成される。電子光学特性に関する形状は、液晶パラメータ、予め定めた傾斜、弾性定数、誘電率等から決められる。たとえば、低い予め定めた傾斜による配列によりシャープなしきい値と当該しきい値にの直後に続く大きい直線状領域が提供される。

【0017】高い傾斜整列（5-20度）により、低電圧領域において電子光学応答の2次変調を得る。電子光学応答の直線部分は、ビーム偏向の様な直線変調の目的に、またはブレイズ効果を持たせた三角形回折格子をシミュレートするのに使用される。2次曲線部分はレンズによる波面変調をシミュレートするのに使用される。1次元変調能力を有する装置、例えば、LC円筒状レンズを、2次元変調能力を有する装置、例えば、球面レンズへ拡張したものが図3に示されている。

【0018】直線形のストライプ状電極は、2次元変調領域に於ける好ましい形状、つまり円形または楕円により曲がった形のストライプ状電極に代えられる。接合電極の外端部は、LCドライバーの電圧を供給する低抵抗金属電極に接続される。近傍の接合電極に、同波形、同振幅Aおよび同周波数であるが、位相差が180度の交流電圧、すなわち、極性の異なる電圧が供給される。異なる極性を接合電極の端部に印加すると、接合電極の中間はゼロボルトになる。従って、接合電極の前半部分より成るLC領域は、従ってAボルトから0ボルトに空間的に変調され、図4に示すように、接合電極の後半部分より成る領域は0ボルトからAボルトに空間的に変調される。接合電極の両部分は電子光学特性の同部分をアドレスするので、放物状の2次元空間変調が得られる。

【0019】以下に本発明にか係る装置の好ましい具体例を説明する。図1は、本発明に於ける好ましい具体例

の一つを示すものであって、本発明に於ける好ましい電極構造の一つが図示されている。係る具体例に於いては、一対の上下の端子120と122には、それぞれ同じレベルの電位 ΦA が印加せしめられており、一方、他の対である上下の端子126と128には、それぞれ同じレベルの電位であるが、上記電位 ΦA とは異なる電位 Φ が印加せしめられている。

【0020】一方、端子120と126との間に薄膜抵抗線106が設けられると共に、端子122と128との間に薄膜抵抗線108が設けられている。当該抵抗線はクロム薄膜、或いはニッケルクロム合金薄膜、タンタル薄膜、モリブデン薄膜等で形成されるものであっても良い。更に、例えば、錫、インジウムから形成される酸化性薄膜の様なITO膜である金属酸化膜も使用する事が可能である。

【0021】該電極端子120と122の間に形成される電圧レベルは、一定に維持され、従って、それらが互いに低抵抗である金属電極131を介して接続されていることから、該電極端子120と122の間は等電位に保持される。同様に、該電極端子126と128の間に形成される電圧レベルは、一定に維持され、従って、それらが互いに低抵抗である金属電極138を介して接続されていることから、該電極端子126と128の間は等電位に保持される。

【0022】一方、上記等電位電極線131と138との間は、上記したものと同様の複数の低抵抗金属電極で、それぞれ132、133、134、135、136、137は、ストライプ状の形状を有するものが設けられ且つ互いに平行となる様に配列せしめられている。ここで、注目すべき点は、それぞれの金属電極の両端部は、個別に該抵抗線106と108の此処の電位分割点に接続せしめられており、その結果、該電極131と電極108の間で且つ当該電極131と138の長手方向には、等電位状態が常に形成される事になり、一方当該電極131と138の長手方向と直角の方向には、階段状に変化する電位が形成される事になる。

【0023】上記した様な電極構造は、例えば、透明ガラス板或いはそれに類するものの上に形成する事が出来る。又、透明性膜でより好ましくは高抵抗性の透明導電性膜の様な高抵抗性膜が、上記した互いに平行に配置形成された金属電極131、138、又は低抵抗性ITO膜、の表面上に形成された場合、当該電極131と138の間に形成される電位は、ある傾斜を以て変化する様になる。

【0024】例えば、当該電極131に $10 \cdot \Phi A$ の電位を与え、又電極138に $3 \cdot \Phi A$ の電位を与えると、電位 $10 \cdot \Phi A$ から電位 $3 \cdot \Phi A$ に向けて直線的に電位が変化する膜面が出来る。金属電極132から137の存在によって、当該電極間に形成された、所定の傾斜を持つ等電位線が形成され、当該等電位線は、互いに平行

に配置されている該電極131と138の長手方向と常に平行した形状を示す。

【0025】上記した電位に於ける所定の傾斜を持った電極膜層がその表面に形成されている透明ガラス板と透明導電性膜をその表面に形成したガラス板とを対向させて、且つ両者間に空間が形成される様に数ミクロン(μm)の間隔を開けて、互いに平行になる様に配列し、そして、当該空間部に液晶(LC)を充填して、当該液晶の配向が当該ガラス基板の表面と平行となる様に設定する事によって、光学変調素子が得られるのである。

【0026】本発明に係る具体例に於いては、該低抵抗線131から138により生ずる効果の故に、高効率で歪みが少ないと言う特徴を持った高性能の光学変調素子が得られる。図2は、有効複屈折 Δn と液晶電圧との関係を示すグラフであり、当該グラフに於いて、横軸は液晶の駆動電圧を示すものであり、又縦軸は有効複屈折を表わすものである。

【0027】係るグラフから明らかな様に、個々のグラフは、直線的な変調領域と曲線的な変調領域とで構成されている。従って、かかる曲線的な変調領域を利用すると、薄いガラスレンズが、直交入射光波に対して、位置要素の関数に関して球面レンズと同等の効果を発揮する。更に、本具体例に於いては、その曲率の変化を、当該液晶に印加される電圧を変化させる事により、制御する事が可能である。

【0028】図3は、本発明に係る電極構造の他の具体例を示す図であり、図中、図1に示すと同様に、電極端子306、308、302、及び304は抵抗線371、381、302、304に個別に接続されており、更に、一対の抵抗線371と351の間、及び一対の抵抗線381と361の間には、互いに同心円状に配置された複数の半円形をした細幅状の電極群が接続せしめられており、例えば複数の半円形をした細幅状の電極群311、312、313、314、315、316、317、319及び340は抵抗線371と351との間に接続せしめられている。

【0029】図3に注目すると、ストライプ(細幅)状電極311、312、313、314、315、316、317、319及び340は、パターン化された低抵抗性の薄膜であり、ガラス基板の表面に形成されている。この具体例に於いては、それぞれの半円形ストライプ状電極は個々の電圧を有しており又それぞれ等電圧を示している。

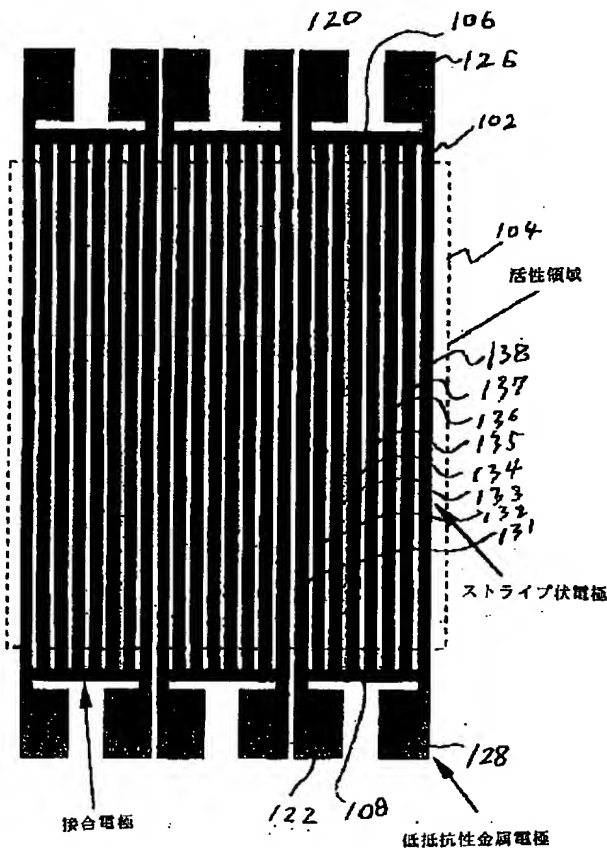
【0030】ある電圧、例えば、 $-V$ の電圧が、等しく両電極端子306と308に印加され、別の電圧、例えば、 $+V$ の電圧が、等しく両電極端子302と304に印加され時に、電位は抵抗線381と361から円の中心の方向に向かって上昇し、その中心で0Vとなり、更に当該円の中心から抵抗線371と351に向かう方向に上昇して $+V$ なる電圧となる。

【0031】係る具体例に於いては、例えば厚さが100～400nmの InSn_2O_3 膜の様な高抵抗性透明導電薄膜が該低抵抗性のパターン化された電極膜の表面に形成されるか、或いはガラス基板と該低抵抗性のパターン化された電極膜との間に形成された部位に形成された場合には、レンズとして使用可能な曲率電位分布を有するガラス基板を得る事が出来る。

【0032】上記したガラス基板と、表面全体に透明導電膜が形成された別のガラス基板とを、その間に或る間隔、例えば数 μm の間隔を開けて互いに平行に対向した配置すると同時に上記ガラス基板の間に形成された空間に液晶層を形成し、当該液晶の配向を該ガラス基板の表面と平行になるように設定すると、本発明に於ける液晶波面変調を持つ電極構造が得られる。

【0033】本具体例に於いて、当該液晶の配向を該ガラス基板の表面と平行に設定する事に限定せず、非平行となる様に、つまりツイストタイプに設定することも可能である。本発明に於いては、円形の電極で、個々の電極が等電位性を持つてる構成に基づき、ガラスレンズ*

【図1】



*に関しては、球面歪みのない電界が形成され、従ってレンズとしての特性が向上する。

【0034】上記した具体例に於いては、 ΦA 、 ΦB 、 $\Phi A (+)$ 、 $-V$ 、 $+V$ 等で示される電位としては、例えば、5～10ボルトで1～1000Hzの様な交流パルス源を実際の電圧源として使用する事が出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の電極構造の一具体例を説明する図である。

10 【図2】図2は、本発明の電極構造に於ける特性値を示すグラフである。

【図3】図3は、本発明の電極構造の他の具体例を説明する図である。

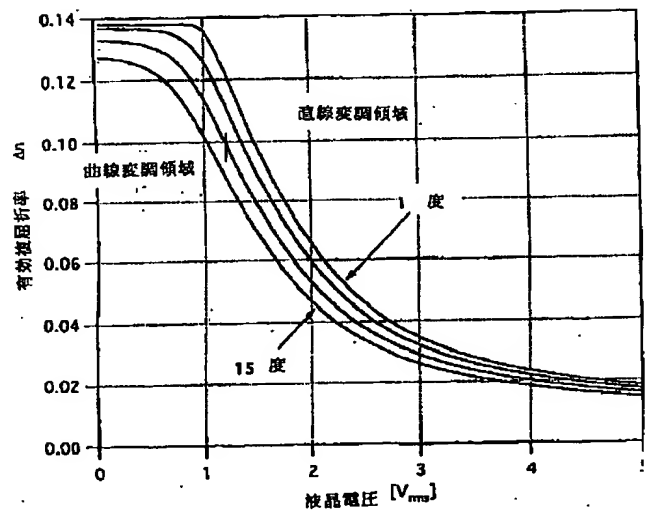
【図4】図4は、本発明の他の具体例に於ける電極構造に於ける特性値を示すグラフである。

【符号の説明】

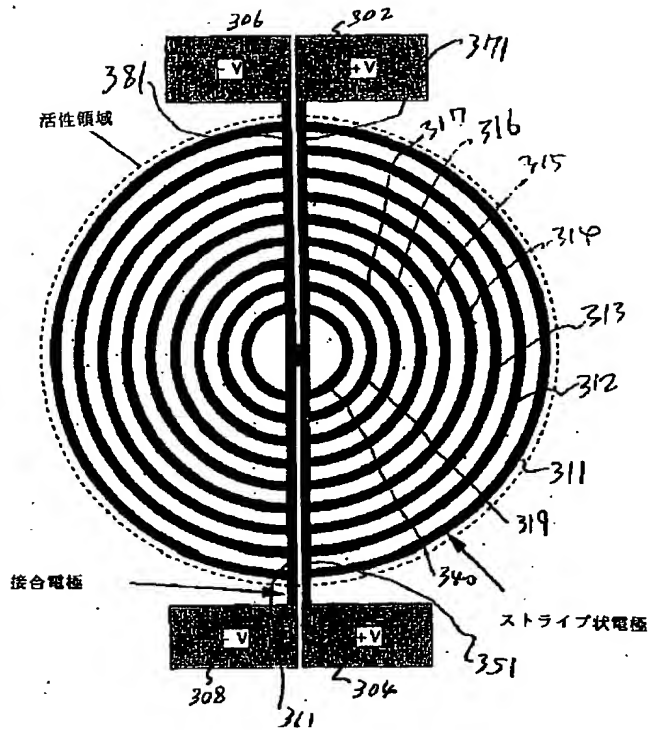
120、126、122、128…端子

106、108…薄膜抵抗線

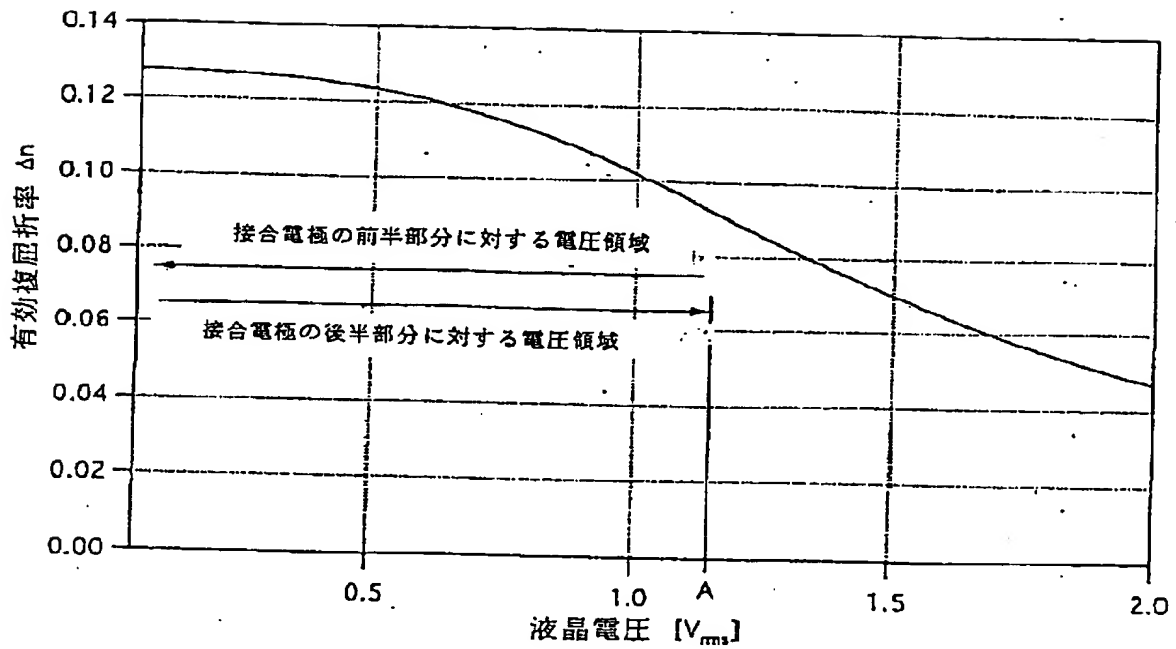
【図2】



【図3】



【図4】



【外国語明細書】

1. Title of the Invention

Electrode Structure for an Efficient Liquid Crystal Wavefront Modulator

2. Claims

1. A device for wavefront modulating an optical beam comprising:
an optical element including a first window having an optically-transparent common electrode, a second window having a multiplicity of transparent conductive electrodes in the form of electrically bundled parallel stripes, and a layer of liquid crystal molecules intermediate the first and second windows.
the optical device is positioned so that an optical beam is incident on the first window and reflected or transmitted by the second window.
means for applying control signals individually to the outer electrodes of each cell, thereby creating a linear voltage gradient along the join electrodes and across the cell area, thereby creating local variations of the refractive index in the liquid crystal layer according to linear or nonlinear parts of the LC's electrooptic characteristics.
2. The device according to claim 1 further includes join electrodes consisting of the same or different material than the stripe electrodes. The stripe electrodes resistivity is preferably low while the resistivity of the join electrodes is preferably high to provide a high input resistance to each cell. The join electrode is either included in the electrode structure covering the illuminated active area or placed outside the active area.
3. The device according to claim 2 wherein the join electrode is connected to low resistive metal electrodes at two or more positions that supply the voltage from the LC driver.
4. The device according to claim 3 which is used to deflect an optical beam by generating a blazed phase profile of the transmitted or reflected optical wavefront by addressing the active area with voltages from within the linear part of the LC's electrooptic characteristics of an LC layer with pretilt angles between 0 and 3 degrees.
5. The device according to claim 3 which is used to focus an optical beam by generating a quadratic phase profile of the transmitted or reflected optical wavefront by addressing the active area with voltages from within the nonlinear part in the low-voltage region of the LC's electrooptic characteristics of an LC layer with pretilt angles between 5 and 20 degrees.
6. The device according to claim 5 of which the two ac voltages applied to neighboring join electrodes have the same amplitude and same frequency but are out of phase by 180 degrees (reversed polarity).

3. Detailed Explanation of the Invention

Background of the invention:

The interest in optical wavefront control via nematic liquid crystal (LC) waveplates is ever increasing. Devices are being developed for the active control of laser beams in research fields such as adaptive optics, optical signal processing and free-space laser communications. Reasons for the popularity of such devices are the possibility of modulating the LC's strong birefringence with voltages of less than 10 V, the freedom of any mechanical motion, compactness, lightness, and the low power consumption.

The fine control of the angle of an outgoing or incoming laser beam on the order of one microradian in an optical transceiver, e.g., on-board a satellite or at an optical ground station, is essential to achieve and maintain a successful optical communications link over several 100 km to several 1000 km. The difficulty in obtaining the required steering precision via mechanical means has been stimulating investigations on non-mechanical beam deflectors. Inserting non-mechanical elements into the optical system would reduce the number of moving parts and facilitate the system requirements. Besides electrooptic and acoustooptic devices, the liquid crystal panel is a very attractive candidate as a beam deflector¹⁻³.

Another eagerly investigated field of LC microoptics is the emulation of the focusing property of a lens by spatially modulating the LC's effective refractive index according to a quadratic function. The possibility of strongly varying a lens's f-number with low voltages induced a great deal of implementation ideas in recent years⁴⁻⁶. LC lenses can be realized either by superimposing two devices with one-dimensional modulation capability, e.g., two cylindrical LC lenses, or using an electrode structure allowing one directly the two-dimensional modulation.

In developing LC devices researchers have focused so far on two types of electrode structures: (i) the discrete structure where the liquid crystal is modulated by means of a large number of independent narrow stripe-shaped low-resistive electrodes, and (ii) the continuous structure where broad electrodes with areas of different resistivities modulate the liquid crystal via a linear or nonlinear voltage gradient generated in the electrode plane. The former approach has the advantage of high transmission efficiency and unproblematic fabrication of the electrodes. The huge number of electrodes requires however a high expenditure in fabricating the complex LC driver.

The latter approach keeps down the complexity of the LC driver, however, a high optical throughput has not yet been reported.

The present invention proposes an electrode design that aims at combining the advantages found in both approaches.

Summary of the invention :

The objective of the present invention is to provide a new electrode design for a liquid crystal optical wavefront modulators with applications such as a beam deflector, spherical or cylindrical single microlens, or lens array. The design is an improvement over the prior art in that it includes a practical means for generating linear and nonlinear spatial optical wavefront modulation with a reduced number of control signals and less complexity in the fabrication process than former devices.

The objects of this invention are demonstrated by providing devices for deflecting an optical beam (linear wavefront modulation) and focusing an optical beam (nonlinear wavefront modulation). The scope of this invention is however not intended to be limited by the herein discussed devices, but should also be considered with a LC modulator for arbitrary wavefront generation.

To attain the objects of the present invention as described above, the electrode structure of the present invention has basically the following constructions, in that ;

A device for wavefront modulating an optical beam comprising:

an optical element including a first window having an optically-transparent common electrode, a second window having a multiplicity of transparent conductive electrodes in the form of electrically bundled parallel stripes, and a layer of liquid crystal molecules intermediate the first and second windows.

the optical device is positioned so that an optical beam is incident on the first window and reflected or transmitted by the second window.

means for applying control signals individually to the outer electrodes of each cell, thereby creating a linear voltage gradient along the join electrodes and across the cell area, thereby creating local variations of the refractive index in the liquid crystal layer according to linear or nonlinear parts of the LC's electrooptic characteristics.

The device is characterized in that it includes join electrodes consisting of the same or different material than the stripe electrodes. The stripe electrodes resistivity is preferably low while the resistivity of the join electrodes is preferably high to provide a high input resistance to each cell. The join electrode is either included in the electrode structure covering the illuminated active area or placed outside the active area.

The device is characterized in that the join electrode is connected to low resistive metal electrodes at two or more positions that supply the voltage from the LC driver.

The device is characterized in that it is used to deflect an optical beam by generating a blazed phase profile of the transmitted or reflected optical wavefront by addressing the active area with voltages from within the linear part of the LC's electrooptic characteristics of an LC layer with pretilt angles between 0 and 3 degrees.

The device is characterized in that it is used to focus an optical beam by generating a quadratic phase profile of the transmitted or reflected optical wavefront by addressing the active area with voltages from within the nonlinear part in the low-voltage region of the LC's electrooptic characteristics of an LC layer with pretilt angles between 5 and 20 degrees.

The device is characterized in that the two ac voltages applied to neighboring join electrodes have the same amplitude and same frequency but are out of phase by 180 degrees (reversed polarity).

An optical liquid crystal wavefront modulation device for monochromatic light comprises a homogeneously aligned liquid crystal layer confined between two optical transparent windows. The device has an optically-transparent common electrode on the first window and a multiplicity of optically-transparent parallel stripe electrodes (said stripe electrode) on the second window. Dependent on the device to be realized, the longitudinal shape of the stripe electrodes is either straight or bent. On the second window, N stripe electrodes are periodically joined via one or more single stripe electrodes of resistive material (said join electrode) to form M bundles of stripe electrodes, each bundle representing a liquid crystal cell (said cell), as shown in Fig. 1. The two outer stripe electrodes of each bundle, respectively, are supplied with two independent control signals (ac voltages). The multiplicity of control signals ($N \times M$) is therefore reduced to two signals per cell ($2 \times M$).

The application of two different voltages causes a linear voltage gradient along the join electrodes. This in turn generates a linear voltage gradient across the cell area. This linear voltage gradient causes a linear or nonlinear spatial variation of the liquid crystal molecules' refractive index distribution dependent on the liquid crystal's electrooptic response and the addressing voltage. Wavefront modulation is achieved according to linear or nonlinear parts of the liquid crystal's electrooptic response as shown in Fig. 2. The shape of the electrooptic characteristics depends on the liquid crystal parameters pretilt, elastic constants and dielectric permittivities. For example, low pretilt alignment provides a sharp threshold and a large linear region shortly after the threshold. High pretilt alignment (5-20 deg) provides quadratic modulation of the

electrooptic response in the lower voltage region. The linear portion of the electrooptic response is used for linear modulation purposes such as beam deflection or to simulate blazed and triangular diffraction gratings. The quadratic portion is used to simulate wavefront modulation by a lens.

The extension of a device with one-dimensional modulation capability, e.g. the LC cylindrical lens, to a device with two-dimensional modulation capability, e.g. a spherical lens, is shown in Fig. 3. The straight stripe-shaped electrodes are replaced by bent stripe-shaped electrode according to the desired shape of the two-dimensional modulation area, either circular or elliptical. The outer ends of the join electrodes are connected to low-resistive metal electrodes providing the voltage of the LC driver. Neighboring join electrodes are supplied with ac voltages of the same waveform, same amplitude A and same frequency but a phase difference of 180 degrees, i.e., voltages with different polarities. Applying different polarities to the ends of the join electrode provides zero volt in the middle of the join electrode. The LC area comprised by the first half of the join electrode is thus spatially modulated from A volts to 0 volt, and the area comprised by the second part is spatially modulated from 0 volt to A volts as illustrated in Fig. 4. Since both parts of the join electrode address the same part of the electrooptic characteristics, the parabolic two-dimensional spatial modulation is obtained.

Description of the Preferred Embodiment

Fig. 1 show one preferred embodiment of the present invention in that one desirable electrode configuration of the present invention is illustrated.

In the embodiment, a pair of an upper and a lower end terminals 120 and 122 are supplied with the same level of electric potential ΦA , respectively, while another pair of an upper and a lower end terminals 126 and 128 are supplied with the same level of electric potential Φ , different from the level of ΦA , respectively.

On the other hand, between the end terminals 120 and 126, a thin-film resistive line 106 is provided, while between the end terminals 122 and 128, a thin-film resistive line 108 is provided, as well.

The above-mentioned resistive line may be formed with chromium thin film, nickel-chromium-alloy metallic thin film, tantalum thin film, molybdenum thin film or the like.

Further, a metallic oxide film, for example, ITO film such as an oxidising thin film made of Tin or Indium, can be also used.

The voltage level formed between the electrode terminals 120 and 122, is kept uniform and thus equipotential condition is formed therebetween, since they are connected to each other through a low resistive metallic electrodes 131.

In the same way, the voltage level formed between the electrode terminals 126 and 128, is kept uniform thus equipotential condition is formed therebetween, since they are connected to each other through a low resistive metallic electrodes 138.

On the other hand, between these equipotential electrodes 131 and 138, a plurality of low resistive metallic electrodes, as same as the one as mentioned above, and each having a stripe-like configuration, 132, 133, 134, 135, 136, and 137 are provided and being parallelly arranged to each other.

Note that both end portions of each one of this metallic electrode lines is connected to the resistive lines 106 and 108, respectively, at respective potential dividing point and thus between the electrode 131 and the electrode 138 and in a longitudinal direction of the electrodes 131 and 138, equipotential condition is always created while in a direction perpendicular to the longitudinal direction of the electrodes 131 and 138, a potential is formed so as to be varied in a step-like manner.

The above-mentioned electrodes can be formed, for example, on a transparent glass plate or the like.

When a high resistive film such as a transparent film, more preferably a high resistive, transparent electric conductive film, is formed on a surface of these metallic electrodes 131 to 138, being parallelly arranged to each other, and which can also be formed by low resistive ITO films, the electrical potential as formed between the electrode 131 and the electrode 138, varies with a certain gradient.

For example, when a potential levels of $10 \cdot \Phi A$ and $3 \cdot \Phi A$ are applied to the electrodes 131 and 138, respectively, a film surface, the potential thereof being linearly varied from $10 \cdot \Phi A$ and $3 \cdot \Phi A$, can be obtained.

Due to the existence of the metallic electrodes 132 to 137, the equipotential line having the certain gradient formed among them, shows always a configuration which is in parallel with a longitudinal direction of the electrodes 131 and 138, which being also parallelly arranged to each other.

When a transparent glass plate on a surface of which the above-mentioned electrode film layers with a certain gradient in electric potential, are formed and a glass plate on a surface of which a transparent electrically conductive film layer is formed, are oppositely and parallelly arranged to each other with interposing a space of several micron (μm) therebetween so as to form a space therein, and when Liquid crystal (L.C.) is filled in this space so that an orientation thereof is arranged in parallel with the surface of these glass plates, an optical modulation device can be obtained.

In accordance with this embodiment, due to the effects caused by these low resistive lines 131 to 138, a sophisticated optical modulation device having a high efficiency with less distortion can be obtained.

Fig. 2 shows a graph showing a relationship between the effective birefringence Δn and Liquid Crystal voltage, and in the chart the abscissa represents a driving voltage of the Liquid Crystal while the vertical axis represents the effective birefringence.

As apparent from these graphs, each of the graphs consists of a linear modulation region and a quadratic modulation region.

And thus when this quadratic modulation region is used, the thin

glass lens can serve as a spherical lens with respect to positional factor as a function, for an orthogonally incident optical wave.

Further, in this embodiment, a variation of the curvature thereof can be controlled by changing the voltage applied to the Liquid Crystal.

Fig. 3 shows another embodiment of the present invention, in that as shown in Fig. 1, electrode terminals 306, 308, 302 and 304 are connected with resistive lines 381, 361, 371, and 351, respectively and between the resistive pair lines 371 and 351, and between the resistive pair lines 381 and 361, a plurality of semicircular stripe-like electrodes which are eccentrically arranged to each other, are connected, for example, a plurality of semicircular stripe-like electrodes 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 319, and 340 are connected between the resistive lines 371, and 351.

Note that in Fig. 3, the stripe like electrodes 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 319, and 340 are patterned low resistive thin films and formed on a surface of a glass substrate.

In this embodiment, each one of the semicircular stripe-like electrodes has respective voltage and shows equipotential, respectively.

When a certain voltage, for example, $-V$ is equally applied to both electrode terminals 306 and 308 and another certain voltage, for example, $+V$ is equally applied to both electrode terminals 302 and 304, the electric potential is increased in a direction indicated from the resistive lines 381 and 361 to a center of the circle to be $0V$ and further in a direction indicated from the center of the circle to the resistive lines 371 and 351, the potential is increased upto $+V$.

In this embodiment, when a high resistive transparent and an electric conductive thin film, for example an InSn_2O_3 film having a thickness of 100 to 400 nm, is formed on a surface of the low resistive patterned electrode film or in a portion formed between the surface of

the glass substrate and the low resistive patterned electrode film, a glass plate having potential distribution with curvature which can be used for lens, can be realized.

When the above-mentioned glass substrate and a separate glass substrate provided with a transparent conductive film on a overall surface thereof are oppositely and parallelly arranged to each other with interposing a certain space, for example, several μm and further when liquid crystal layer is formed in the space between both glass substrates so that the orientation of the liquid crystal is set in parallel with the surface of the glasses, an electrode structure of a liquid crystal wavefront modulator of the present invention can be obtained.

In this embodiment, when the liquid crystal is set, the orientation thereof is not restricted only to be set in parallel with the surface of the glasses but it can be set in non-parallel with the surface of the glass, i.e., in so called "twist type" condition.

In the present invention, due to the formation of circular electrodes each having equipotential, an electric field without having a spherical surface distortion with respect to a glass lens can be realized and thus the characteristics as necessary for lens, can be improved.

In the above-mentioned embodiment, the potentials as indicated by such as ΦA , ΦB , $\Phi A (+)$, $-V$, $+V$, are actually voltage sources of, for example, alternative pulse sources having 5 to 10 volt and frequency of 1 to 1000Hz or the like.

FIG. 1

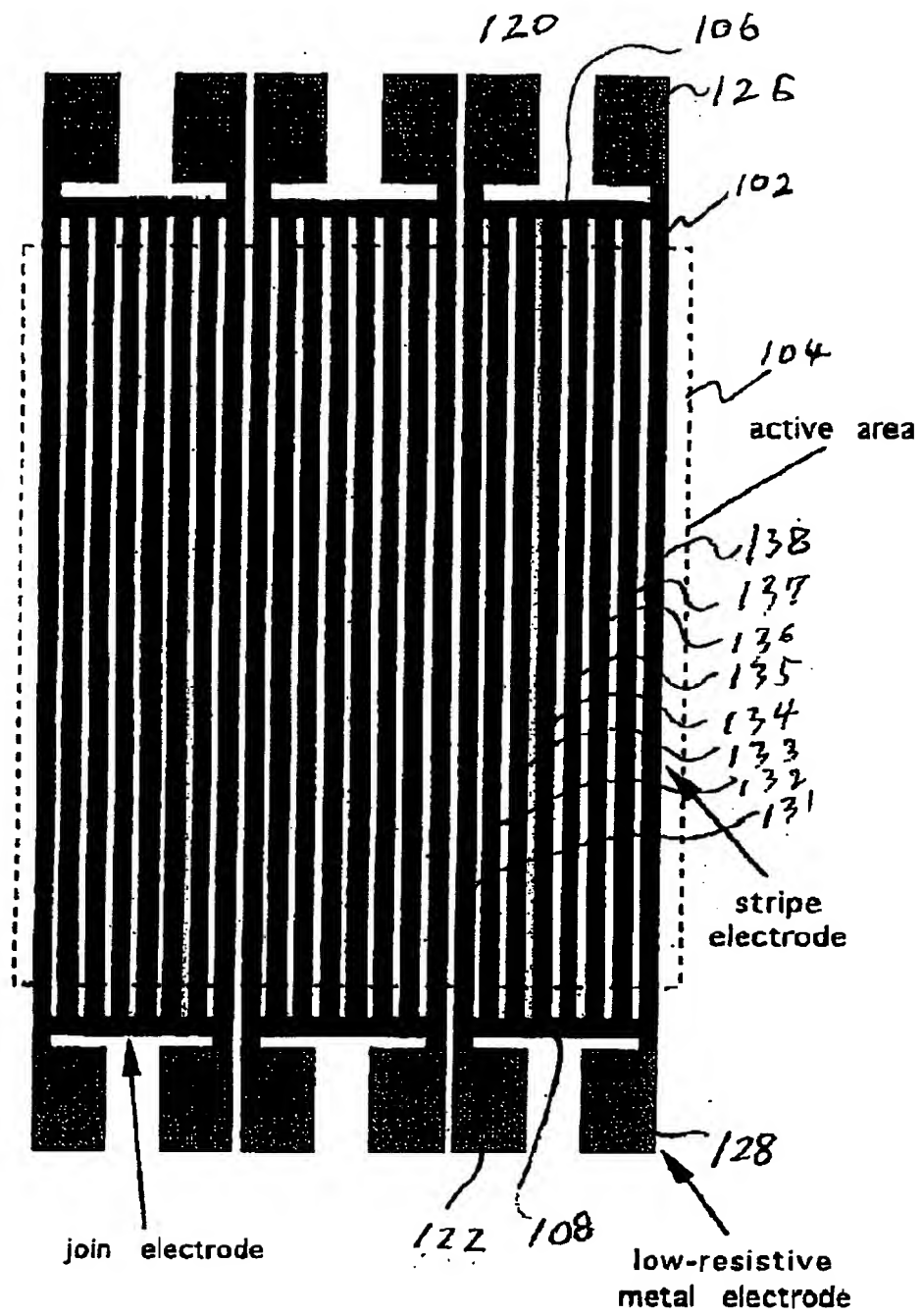


FIG. 2

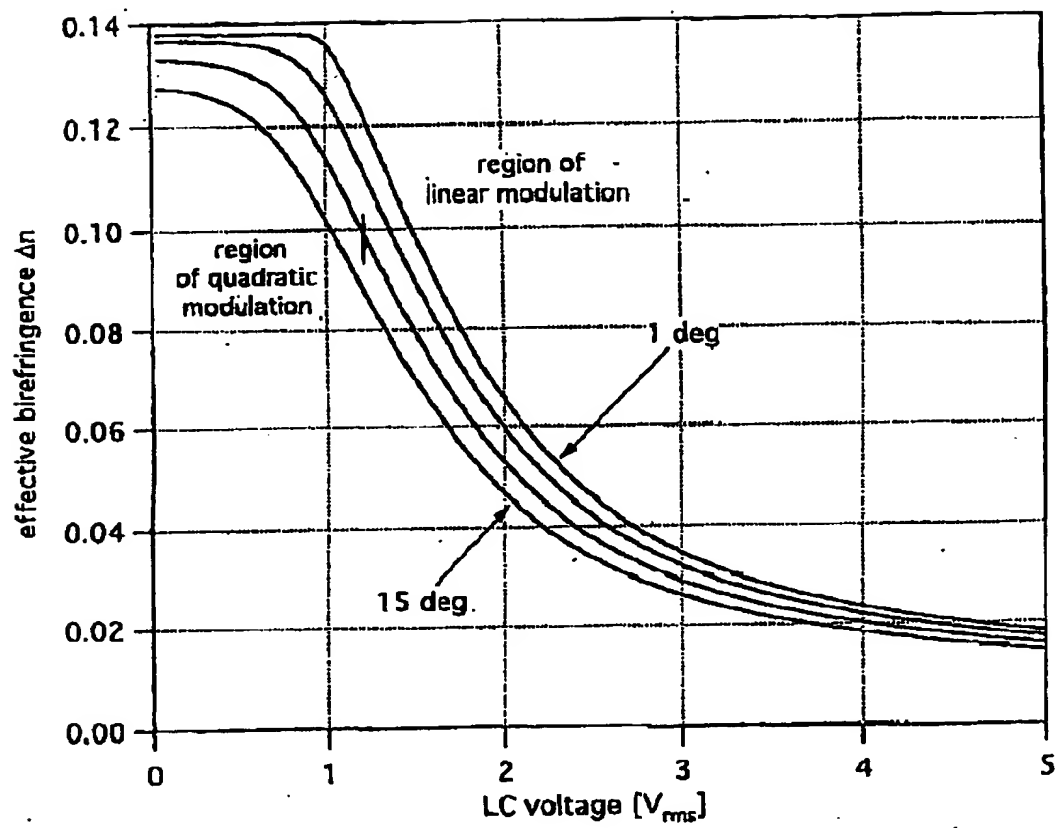
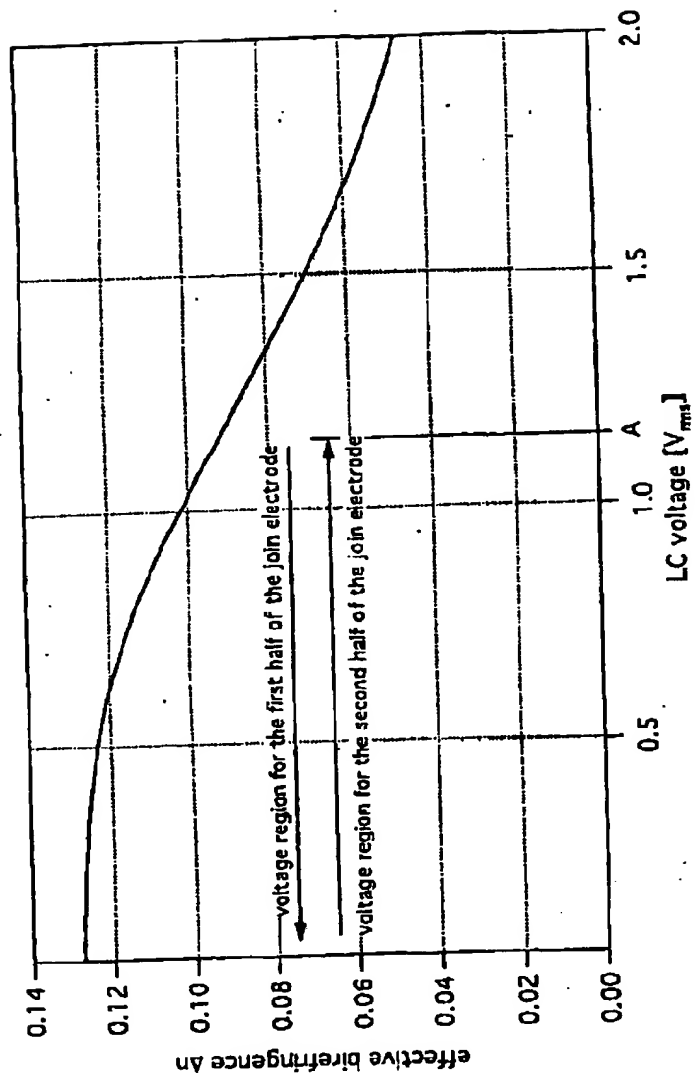


FIG. 4



1. Abstract

The present invention is to provide a new electrode design for a liquid crystal optical wavefront modulators with applications such as a beam deflector, spherical or cylindrical single microlens, or lens arrays.

2. Representative Drawing

FIG. 1